

# DISEÑO DE UNA ANTENA MULTIBANDA CON RANURAS EN EL PLANO DE MASA: UNA TÉCNICA PARA FACILITAR LA INTEGRACIÓN DE LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN

Cristina Picher<sup>(1)</sup>, Jaume Anguera<sup>(1,2)</sup>, Aurora Andújar<sup>(1)</sup>, Carles Puente<sup>(1)</sup>, Sergi Risco<sup>(2)</sup>, Sungtek Kahng<sup>(3)</sup>

cristina.picher@fractus.com, jaume.anguera@fractus.com

<sup>(1)</sup> Departamento de Tecnología y Propiedad Intelectual, Fractus, 08190 Barcelona

<sup>(2)</sup> Departamento de Electrónica y Comunicaciones, Universitat Ramon Llull, 08022 Barcelona

<sup>(3)</sup> Department of Information and Telecommunication Engineering, University of Incheon, South Korea

**Abstract-** The integration of transmission lines is a difficult task due to the presence of slots. In order to facilitate the integration of the feeding transmission line which connects the antenna with the RF-module, this research proposes a ground plane modification using central slots. Numerical simulation using MoM is used to understand the effect of the slots on the ground plane and several prototypes have been built to validate the present technique. Through this technique is possible to obtain a multiband antenna while keeping the same antenna geometry, small volume and simplifying the PCB (Printed Circuit Board) design.

## I. INTRODUCCIÓN

La telefonía móvil ha crecido exponencialmente los últimos años y actualmente, la demanda del mercado precisa teléfonos con múltiples servicios, con lo que se requieren nuevas frecuencias de operación e integrar todos los elementos en dispositivos de dimensiones reducidas. Por este motivo es necesario investigar nuevas técnicas que permitan obtener antenas multibanda y miniatura.

En estudios de mercado [1], se ha demostrado que la tendencia actual es utilizar antenas internas, ya que son menos susceptibles a romperse y se integran mejor estéticamente.

Normalmente, los diseñadores se centran básicamente en modificar la geometría de la antena, pero tal y como se muestra en estudios anteriores [2-8], el plano de masa juega un papel muy importante en el comportamiento del sistema. El plano de masa es la parte metalizada utilizada como tensión de referencia en la placa de circuito impreso (PCB - Printed Circuit Board).

La longitud del plano de masa está muy relacionada con el ancho de banda del conjunto [9,10]. Es decir, cuando la longitud es próxima a  $0.4\lambda$ , se excita el modo del plano de masa provocando un aumento del ancho de banda de la antena.

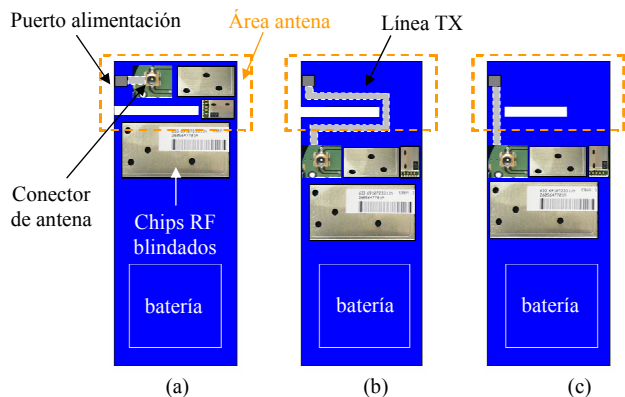
En [2] y [3] se utiliza una ranura en el plano de masa para mejorar la adaptación en una banda del espectro de frecuencias (900 MHz). Por otro lado, en [4] se presenta un plano de masa con múltiples ranuras para mejorar el comportamiento de una antena multibanda. No obstante,

dicho diseño es imposible de integrar en un dispositivo real ya que en la PCB se encuentra la batería, la pantalla y otros componentes del teléfono. Finalmente, en [6-8] se utiliza una ranura abierta en el plano de masa para lograr dos objetivos: el primero es sintonizar el plano de masa a las frecuencias de GSM 850/GSM 900, y el segundo es reutilizar la ranura para conseguir que actúe como elemento parásito a las frecuencias de DCS/PCS/UMTS. A pesar de los buenos resultados obtenidos cuando existe una ranura abierta adecuadamente diseñada para sintonizar el plano de masa a la misma frecuencia que la antena [6-8], no se debe olvidar la aplicación de esta técnica en un dispositivo móvil, y concretamente, la integración de la línea de transmisión encargada de la alimentación de la antena.

En la sección II, se presentan las motivaciones y el objetivo de la investigación. La antena y los planos de masa analizados se detallan en la sección III. Los resultados de las simulaciones y medidas se han resumido en la sección IV, y para finalizar, se exponen las conclusiones extraídas de este estudio.

## II. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

En la Fig. 1 se observan tres diseños de placas de circuito impreso. El puerto de alimentación debe estar en el extremo abierto de la ranura para obtener buenos resultados [6-8].



El primer diseño (Fig. 1-a) corresponde al plano de masa con ranura abierta que tiene el módulo de RF (Radio Frecuencia) muy cerca del punto de alimentación. Esto significa que el área reservada de la antenna estaría ocupada por los componentes electrónicos responsables de procesar la señal recibida/enviada por la antenna. Usualmente, estos componentes van blindados por motivos de compatibilidad electromagnética, provocando así una disminución de la altura de la antenna (se reduce la distancia entre la antenna y los componentes blindados conectados a masa) y una reducción del ancho de banda. Teniendo en cuenta que la zona reservada para la antenna debe estar libre, se presentan dos nuevos diseños (Fig. 1-b y c). La Fig. 1-b presenta un plano de masa donde la línea de transmisión sigue un camino curvado más largo. Esta longitud puede ser crítica en términos de ruido y de la alta concentración de elementos en la PCB. El diseño propuesto en este estudio corresponde al plano de masa con ranura central (Fig. 1-c), el cual simplifica el trazado de la línea de transmisión y reduce la distancia entre el *pad* de antenna y el chip de RF.

Por lo tanto, la principal motivación de este estudio es analizar la manera de reducir la longitud de la línea manteniendo los beneficios obtenidos con las ranuras abiertas. El objetivo se basa en demostrar que con la solución de las ranuras centrales también se puede mejorar el ancho de banda.

### III. LA ANTENA Y EL PLANO DE MASA

Se presentan 4 diseños (Fig. 2). El primero corresponde a un plano de masa de referencia sin ranuras (Fig. 2-a), el cual se utiliza para comparar los beneficios obtenidos en los siguientes diseños. El segundo diseño (Fig. 2-b) consiste en una ranura abierta en un extremo del plano de masa correctamente diseñado y situado para ofrecer mejor ancho de banda en las dos bandas de operación: banda baja (alrededor de los 900 MHz) y banda alta (alrededor de los 1900 MHz) [11].

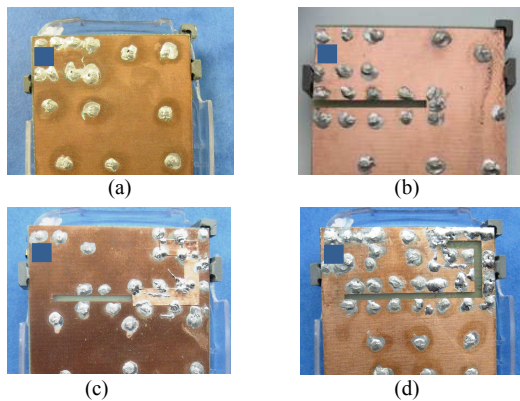


Fig. 2. Detalle de los planos de masa utilizados en los cuatro prototipos implementados [5]. El puerto de alimentación está marcado en azul.

Los dos últimos diseños corresponden a planos de masa con ranuras centrales para facilitar el proceso de integración. El tercero (Fig. 2-c) utiliza una ranura pequeña para sintonizar el plano de masa a una frecuencia cercana a la de la PIFA en banda baja, y el último (Fig. 2-d) utiliza una ranura de longitud mayor con forma de U. En este último caso, la ranura tiene unas características determinadas para conseguir

3 objetivos: sintonizar el plano de masa en banda baja, conseguir que la ranura actúe como parásito para ensanchar el ancho de banda de la PIFA a banda alta, y por último, simplificar el trazado de la línea de transmisión en la PCB.

La antenna utilizada en todos los experimentos es una antenna PIFA de 6 mm de altura sobre un plano de masa de 100x40 mm<sup>2</sup> (Fig. 3). La PIFA tiene 2 picos de resonancia en 950 MHz y en 1950 MHz. La rama corta está sintonizada para operar en las altas frecuencias, y la larga para las bajas (aunque la rama larga también afecta a las frecuencias altas). Para emular un teléfono típico comercial, el plano de masa se encuentra sobre un sustrato de FR4 de 1 mm de grosor ( $\epsilon_r=4.15$ ,  $\tan\delta=0.013$ ). Todos los diseños han sido previamente simulados con el programa de simulación electromagnética IE3D que utiliza el método de los momentos (MoM).

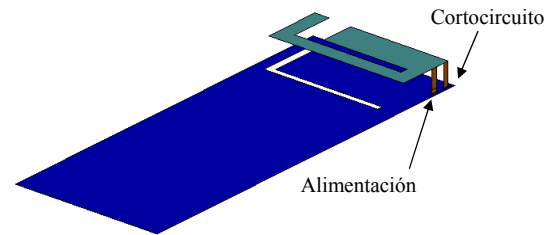


Fig. 3. Vista en 3 dimensiones del diseño y prototipo de antenna

En el caso del plano de masa de referencia, su longitud es inferior a la requerida para resonar a 900 MHz (100 mm corresponde a  $0.3\lambda$  a 900MHz), con lo que su ancho de banda es el menor de todos los casos. Para solucionar este problema, una posible solución sería alargar el plano de masa, pero para lograr un comportamiento óptimo, la longitud eléctrica debe ser  $0.4\lambda$ . Es decir, la longitud del plano de masa debería ser 133 mm para las frecuencias de 900 MHz (demasiado largo para competir con las ofertas actuales de telefonía móvil, típicamente 90-100 mm).

Introducir ranuras en el plano de masa ayuda a crear una longitud eléctrica mayor debido a la modificación del camino de las corrientes y a aumentar el ancho de banda en la banda baja de frecuencias. Además, con una longitud y posición óptima respecto la antenna, estas ranuras pueden actuar de parásitos, acoplarse a la PIFA y aumentar el ancho de banda en la banda alta de frecuencias.

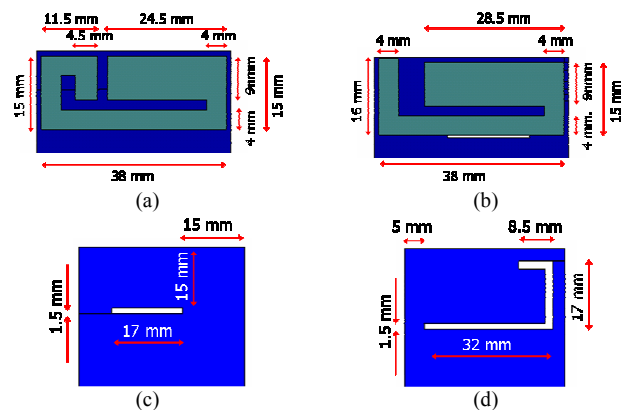


Fig. 4. Dimensiones de los diseños. El plano de masa de referencia utiliza la antenna (a) y los otros (c, d) utilizan la (b) [5,12]

Como se puede ver en la sección IV, la ranura abierta es la que cubre un margen de frecuencias mayor alrededor de las

dos bandas de interés. Por otro lado, limita el diseño de la PCB e implica una difícil integración en un dispositivo real. No obstante, los diseños con ranuras centrales también mejoran en banda baja respecto el plano de masa sin ranuras, pero al cortocircuitar las ranuras, en banda alta suceden efectos diferentes. La ranura central de 17 mm (Fig. 2-c) es eléctricamente pequeña para resonar a las frecuencias de 1900-2100 MHz. En cambio, la ranura U posee una longitud óptima para resonar a dichas frecuencias y convertirse en un elemento parásito que se acopla correctamente a la antena PIFA.

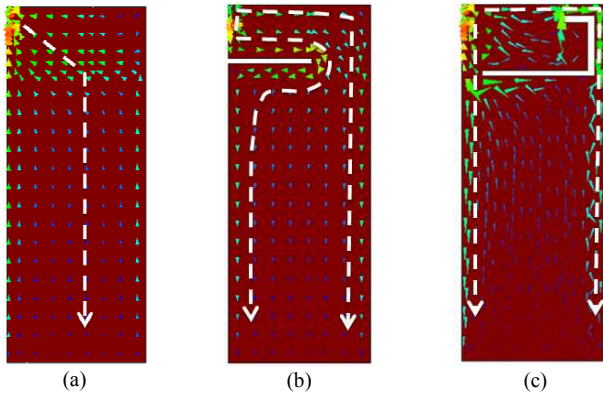


Fig. 5. Distribución de corriente simulada con el IE3D Software.  
(a) PCB sin ranura, (b) ranura abierta y (c) ranura U

Para entender el comportamiento de las ranuras resulta muy interesante conocer la distribución de corriente en el plano de masa en la banda baja de frecuencias (Fig. 5) y el campo eléctrico generado en el interior de las ranuras en la banda alta. Las corrientes en el plano de masa sin ranurar siguen un único camino recto (Fig. 5-a). Al perturbar la superficie, la distribución se modifica ya que ahora las corrientes deben seguir el contorno de las ranuras, y así, realizar un camino más largo (Fig. 5-b y c). En [13] se muestra como el campo eléctrico en la ranura central (Fig. 2-c) es prácticamente nulo a las frecuencias de la banda alta. En cambio, la ranura U tiene un campo eléctrico muy elevado a dichas frecuencias ya que su longitud eléctrica es próxima a  $0.5\lambda$  a las frecuencias de 1900-2000 MHz. Su distribución de campo eléctrico sigue el modo fundamental de una ranura  $0.5\lambda$ . En este caso, la ranura actúa de parásito provocando una interacción con la antena y aumentando su ancho de banda.

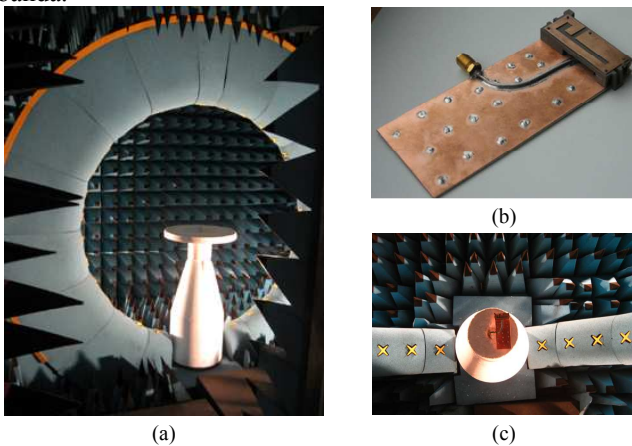


Fig. 6. (a) Cámara anecoica Satimo Stargate-32, (b) y (c) prototipo de la PIFA bibanda. [12]

#### IV. RESULTADOS

Con el fin de validar las simulaciones, se ha implementado los cuatro prototipos. Se ha medido los coeficientes de reflexión con el analizador de redes (Fig. 7), y la eficiencia y diagramas de radiación en la cámara anecoica Satimo Stargate-32 del laboratorio de Fractus.

La antena PIFA de referencia tiene un ancho de banda ( $ROE < 3$ ) del 13.8% en banda baja y del 8.6% en banda alta (Tabla 1). La antena con ranura central tiene buena adaptación en la banda baja (17.4%) pero en banda alta sigue comportándose como la antena de referencia (8.3%) ya que la ranura no está actuando como elemento parásito. En este caso, la ranura solamente ayuda a alargar el camino de las corrientes a las frecuencias de 900 MHz.

	$f_1$ (GHz)	$f_2$ (GHz)	BW % ( $ROE < 3$ )	$f_1$ (GHz)	$f_2$ (GHz)	BW % ( $ROE < 3$ )
PIFA bibanda	0.885	1.016	13.8	1.895	2.065	8.6
Ranura central	0.873	1.039	17.4	1.919	2.086	8.3
Ranura U	0.870	1.050	18.8	1.912	2.210	14.6
Ranura abierta	0.809	1.016	22.7	1.767	2.054	15.0

Tabla 1. Valores medidos de ancho de banda

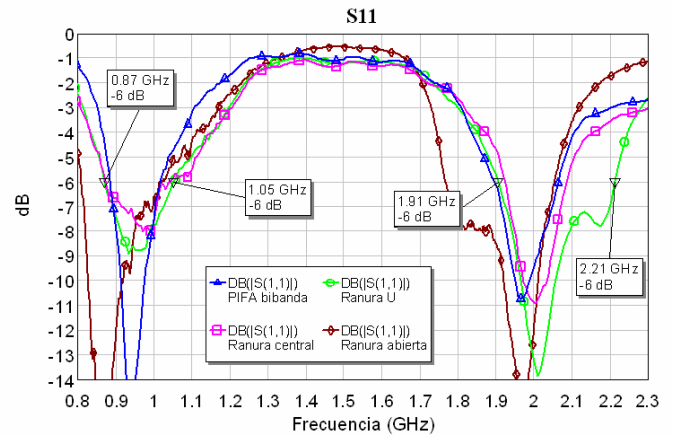


Fig. 7. Coeficiente de reflexión medido de los prototipos

La antena con ranura U satisface los dos requerimientos: permite alargar las corrientes en banda baja y tiene la longitud de resonancia necesaria para la excitación de la ranura en banda alta. Esto se traduce en un aumento del ancho de banda. Esta antena tiene buena adaptación de 0.870 a 1.05 GHz (18.8%) y de 1.912 a 2.210 GHz (14.6%).

Finalmente, la antena con ranura abierta es la que presenta mejores características llegando a cubrir un ancho mayor de frecuencias en banda baja (22.7%) y en banda alta (15%). No obstante, con el ancho de banda obtenido con la ranura U se puede conseguir una antena con ancho de banda comparable a la vez que se cumple el objetivo de facilitar el trazado de la línea de transmisión.

La eficiencia total de antena ( $\eta_a = \eta_r \cdot (1 - |S_{11}|^2)$ , donde  $\eta_r$  es la eficiencia de radiación y el  $S_{11}$  el coeficiente de reflexión) también se ha calculado y se ha resumido en la Tabla 2.



Utilizando ranuras en el plano de masa, los valores de eficiencia aumentan respecto el caso de la antena PIFA de referencia. La ranura central presenta un aumento en banda baja, en cambio, la ranura U mejora en ambas bandas.

Frecuencia (MHz)	Eficiencia total de antena (%)				
	PIFA bibanda	Ranura central	$\Delta$ (dB)	Ranura U	$\Delta$ (dB)
824	17.3	28.2	<b>2.1</b>	25.3	<b>1.7</b>
850	22.7	34.2	<b>1.8</b>	33.0	<b>1.6</b>
890	46.6	50.6	<b>0.4</b>	48.3	<b>0.2</b>
920	58.1	52.3	-0.5	49.3	-0.7
960	68.7	60.0	-0.6	56.2	-0.9
1800	14.1	13.7	-0.1	15.2	<b>0.3</b>
1900	33.8	30.0	-0.5	31.4	-0.3
2000	54.7	55.7	<b>0.1</b>	53.1	-0.1
2100	40.1	49.2	<b>0.9</b>	44.7	<b>0.5</b>
2200	21.0	25.7	<b>0.9</b>	33.7	<b>2.1</b>
2260	15.5	17.3	<b>0.5</b>	19.3	<b>1.0</b>

Tabla 2. Valores medidos de eficiencia de antena. La Delta ( $\Delta$ ) está referenciado respecto la PIFA bibanda.

Finalmente, se han medido los diagramas de radiación (Fig. 8). En banda baja, todos los diagramas son omnidireccionales en  $\phi=0^\circ$  con un nulo en el eje de las Y (siguen la forma de un dipolo convencional). En cambio, en banda alta, los diagramas no son uniformes y a medida que aumenta la frecuencia, el diagrama es más directivo [13].

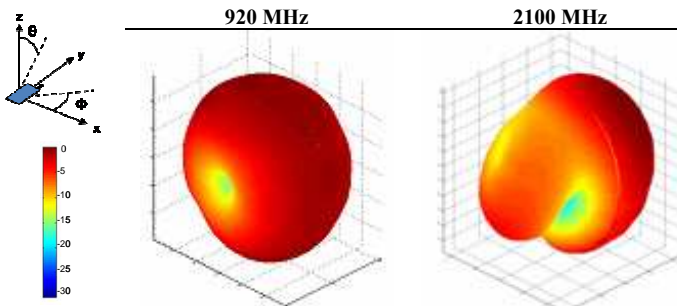


Fig. 8. Diagramas de radiación en 3D de la antena PIFA con ranura U en 920 MHz (directividad=2.6 dB) y 2100 MHz (directividad=4.9dB).

## V. CONCLUSIONES

La técnica investigada consiste en introducir ranuras en el plano de masa con el fin de conseguir antenas multibanda sin modificar la geometría de la antena y volumen del dispositivo facilitando al mismo tiempo la integración de la línea de transmisión.

Gracias a las simulaciones y medidas realizadas, se ha podido demostrar que en banda baja, el ancho de banda aumenta debido al mecanismo de alargar el camino de las corrientes. En banda alta, las mejoras de ancho de banda se consiguen modificando la longitud de la ranura para obtener una óptima resonancia, y posicionando la ranura cerca de la antena para conseguir el acoplo deseado. Estas características se cumplen con el plano de masa que utiliza la ranura abierta, pero su diseño no es fácil de integrar en un dispositivo real ya

que no permite un camino corto y directo de la línea de transmisión que conecta la antena con el módulo de RF.

Por este motivo se ha propuesto dos nuevos diseños con ranuras centrales con el objetivo de conseguir estos beneficios. La ranura central sólo logra mejoras en banda baja. No obstante, con la ranura U, los valores de ancho de banda obtenidos mejoran añadiendo más bandas de operación en ambas bandas. En banda baja se ha pasado de un 13.8 a un 18.8 %, y en banda alta de un 8.6% a un 14.6%.

Los anchos de banda obtenidos con las ranuras centrales son comparables a los obtenidos con la ranura abierta, a la vez que se simplifica el trazado de la línea de transmisión.

En definitiva, se ha conseguido una antena multibanda con valores aceptables de eficiencia y con una fácil integración en dispositivos reales.

Sabiendo que la demanda actual de la telefonía móvil requiere teléfonos pequeños que ofrezcan múltiples servicios, introducir ranuras en el plano de masa es una buena solución para cumplir estos requisitos. El SAR es motivo de investigación y será presentado en futuras publicaciones.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio se enmarca dentro del convenio de colaboración entre la empresa de tecnología Fractus (Barcelona) y el Departamento de Electrónica y Comunicaciones de la Universitat Ramon Llull (Barcelona).

## REFERENCIAS

- [1] F.Frost & Sullivan, *Antennas Systems 2006*, Washington, USA, 2006
- [2] P.Vainikainen, J.Ollikainen, O.Kivekäs, and I.Kelander, *Resonator based analysis of the combination of mobile handset antenna and chassis*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 50, No. 10, October 2002, pp. 1433-1444
- [3] R.Hossa, A.Byndas, and M. E.Bialkowski, *Improvement of Compact Terminal Antenna Performance by incorporating Open-End Slots in Ground Plane*, IEEE Microwave and Wireless Comp. Lett. Vol 14, nº6, June 2004
- [4] M. F.Abedin and M.Ali, *Modifying the Ground Plane and Its Effect on Planar Inverted-F Antennas (PIFAs) for Mobile Phone Handsets*, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 2, 2003
- [5] Patent appl. WO 03/023900
- [6] J.Anguera, I.Sanz, A.Sanz, D.Gala, A.Condes, C.Puente, J.Soler, *Enhancing the performance of the handset antennas by means of groundplane design*, IEEE International Workshop on Antenna Technology: Small Antennas and Novel Metamaterials (iWAT 2006). New York, USA, March 2006
- [7] J.Anguera, A.Cabedo, C.Picher, I.Sanz M.Ribó, C.Puente, *Multiband Handset Antennas by Means of GroundPlane Modification*, IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Honolulu, Hawaii, USA, June 2007
- [8] A.Cabedo, J.Anguera, C.Picher, M.Ribó, C.Puente, *Multi-Band Handset Antenna Combining a PIFA, Slots, and Ground Plane Modes*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, accepted
- [9] K.L.Wong, *Planar Antennas for wireless communications*, Wiley Series in Microwave and Optical Engineering, New Jersey: John Wiley & Sons, 2003
- [10] P. Salonen, *Effect of Groundplane Size on Radiation Efficiency and Bandwidth of Dual-Band U-PIFA*, IEEE, 2003
- [11] C.Picher, J.Anguera, A.Cabedo, M.Ribó, L.Pijoan, C.Puente, *Diseño de antenas multibanda para telefonía móvil mediante la manipulación del plano de masa*, XII Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio, URSI '07, Tenerife, Septiembre 2007.
- [12] Patent appl. WO 01/22528
- [13] C.Picher, J.Anguera, A.Cabedo, C.Puente, S.Kahng, *Multiband handset antenna using slots on the ground plane: considerations to facilitate the integration of the feeding transmission line*, Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 7, 95-109, 2009